

# UNIX版MATLABに関する技術の修得 II

第三技術室システム制御技術班      林    庄司

## 1. はじめに

MATLABは1980年Moler博士によって開発された。最初はFortran言語を知らない人でも行列計算が対話的にできるようにという目的でMATLAB (Matrix Laboratory) という言語をFortran言語を用いて開発された。1985年にMATLABをC言語化し、機能と品質を大幅にアップして製品化され、工学の分野では圧倒的な顧客を得た。現在第4世代言語とよばれているコンピュータ言語に分類されている。

MATLABの特徴は以下のようである。<sup>1)</sup>

1. 物理現象および社会現象の記述が簡単にできる。
2. 対話的に使え、モデルの変数やパラメータを即時に変更して数値実験ができる。
3. 簡単に機能群をToolboxとして追加することが可能である。
4. 行列やベクトルの演算をするのにサブルーチンを作ってcallするのではなく、数学記述のまま可能である。 ( $x^T y \longrightarrow x' * y : A x \longrightarrow A * x$ )
5. 行列処理については、他に類をみない疎行列処理が実行できる。
6. 高度な計算と図形処理を自身の機能として持ち、数式処理ソフト (Maple Vなど) により数式処理を行うことができる。またイメージ画像を取り込み、画像処理を行い、動画として画面上に映すことができる。

今回の研修ではMATLABの機能が多くある中で、MATLAB拡張ソフトであるToolbox内のSignal Processing, Control Systemを用いて、その基本的な使い方とそれらを用いた簡単な信号処理、制御問題を解く技術を修得できたので報告する。

## 2. 信号処理とSignal Processing

### 2. 1 信号処理構成

MATLABとしてはMATLAB5.1を用い、Sun Work Station (AS4085) にX端末 (sony XP117) を接続して行った。ちなみに本MATLABは4ユーザ同時に使用可能で、WSに接続されているX端末は6台である。

WSにMATLABソフトとしてインストールされているものについては、またMATLABを使用するための基本的なコマンド、計算などに用いるための演算子、特殊文字については前回の報告「UNIXのMATLABに関する技術の修得」福井大学技術報告集 3, 59-64 (1997) に記載されているのでここでは省略する。

つぎに信号処理構成のためのブロック図は、Fig. 2.1 に示す通りである。データ取得法，信号処理の基礎，波形生成，特徴抽出の4つに大別される。

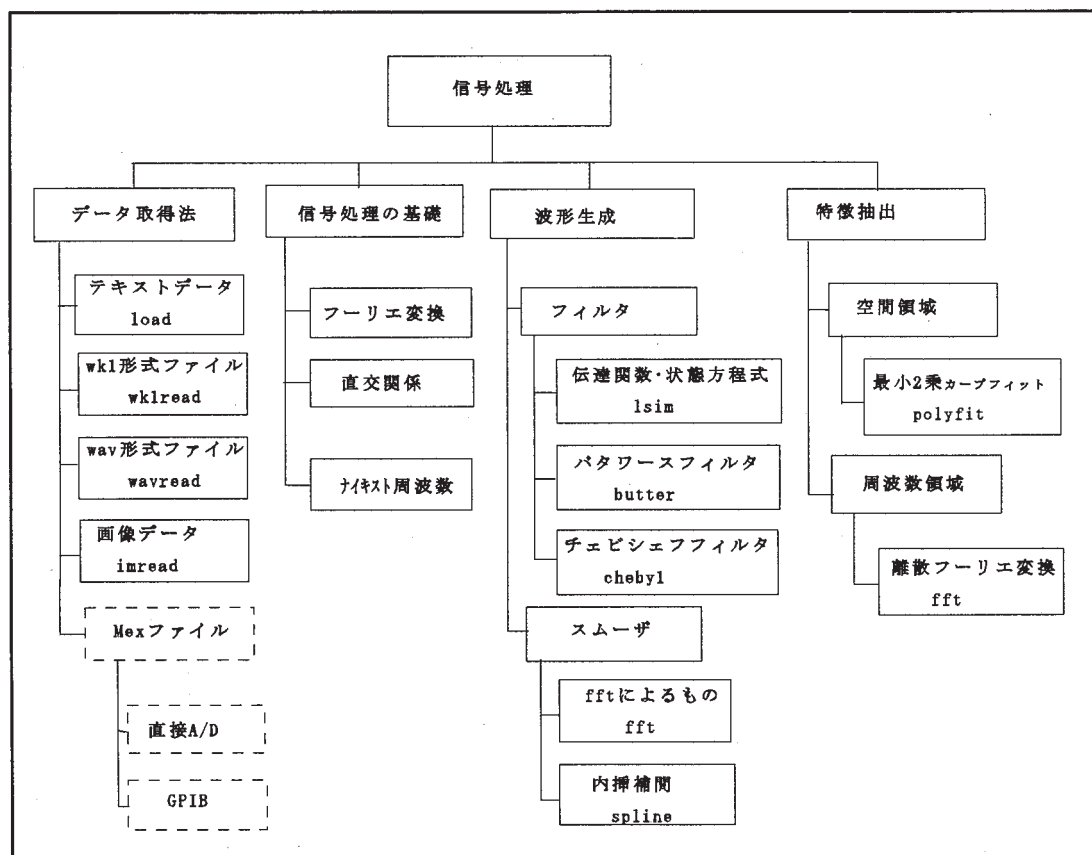


Fig. 2.1 信号処理のブロック図

これらの詳細については以下に述べる。

データ取得法はテキストフォーマットのデータを行列データとして読み込むことができ、そのほか wk1形式、画像関連、音声信号関連のデータなども読み込むことができる。またA/DコンバータやGPiBなどリンクするためのMex (Matlab EXternal interface) が用意され、直接データ読み込める。信号処理の基礎については波形データに離散フーリエ変換を施し、基本周波数に分解して取り出すものである。このほか直交関係（主にsin, cos）、ナイキスト周波数などによる基本周波数の取り出しを行うことができる。

ここでの波形整形法は高周波ノイズカット、直流ドリフト除去、サンプリング周期を変更するなどの処理のことで、フィルタとスモータの2つに分けられる。フィルタにはローパス・ハイパスフィルタ、パタワースフィルタ、チェビシェフフィルタの3種類がある。スモータにはfft関数によるものとspline関数による内挿補間とがある。

特徴抽出の手法には、空間領域によるものと周波数領域によるものに分けられ、前者は最小二乗法によりデータから特徴を抽出し、グラフに描くものである。後者はfft関数により処理し、周波数の最大値などを検出するものである。

## 2. 2 Signal Processingの構成要素と機能

Signal Processing Toolboxを用いた信号処理は、特殊化された関数をMATLABの計算、グラフィックの環境下で使用できるようにしたのである。そのコマンドおよび関数について、その主なものをTable 2. 2に示す。<sup>4)</sup>

Table 2. 2 コマンドおよび関数

	コマンド	説 明
汎用コマンド	load save wavread	Fileの読み込み Fileの保存 音声信号を読み込む
波形生成関数	三角関数 square sawtooth diric sinc	sin, cos, tan 矩形波 ノコギリ波と三角波関数 周期性をもつsinc $\sin(\pi x)/\pi x$
フィルタ	filter filti filter2	フィルタ操作 フィルタの初期条件の設定 2次元フィルタ操作
変換及び 特殊演算	fft fft2 tf2ss rand abs angle demond modulate	高速フーリエ変換 2次元フーリエ変換 伝達関数を状態空間型に変換 一様乱数: $Y=\text{rand}(m, n)$ 大きさ 位相角 復調 変調
統計的 信号処理	psd xcov	パワースペクトル計算 共分散関数
グラフィック	plot specgram spline grid semilog title label	線形プロット スペクトル図を描く スプライン補間 $yi=\text{spline}(x, y, xi)$ グリッドラインを画く 片対数プロット : $\text{semilog}(x)$ グラフの表題 ラベルプロット xlabel: x 軸ラベル

### 2. 3. 1 模擬データの信号処理

信号処理は自動計測、制御工学などの工学の分野では大変重要である。しかしC言語やFortran言語などでフィルタ設計、スペクトル解析などの信号処理をするのは、熟練を要しないと甚だ難しく、またその計算に長時間を要するなどの問題がある。しかしMatlabの信号処理機能を用いると、信号処理システムの研究、設計、エンジニアリングに対して数値的な計算に必要なものをMファイルとして作成でき、Mファイルの変更も簡単に実行することができる。ここでは模擬信号データ処理について述べる。Fig. 2. 3. 1に模擬信号データ3 Hzと30 Hzの正弦波を示す。これら2つの信号データの合成データに白色ノイズを付加した信号波形はFig. 2. 3. 2のように得られる。これをfft関数でフーリエ変換を行うとFig. 2. 3. 3のスペクトルデータが得られる。またこれら一連の処理プログラムをMatlab program 2. 3. 1に示す。

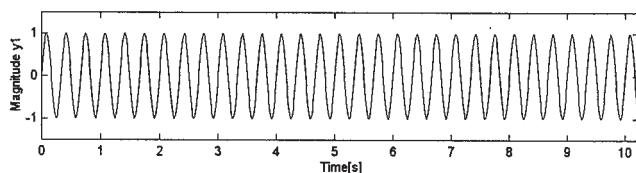


Fig. 2.3.1 模擬波形データ

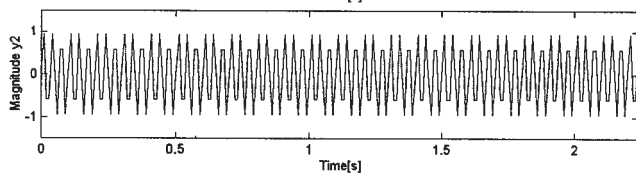


Fig. 2.3.2 合成波形データ

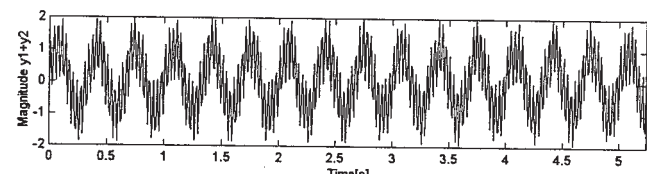


Fig. 2.3.3 スペクトルデータ

### Matlab program 2.3.1

```
%simulation 1of sin signal process.
n=1024;dt=0.01;
t=(0:n-1)*dt;
% y1
omega1=2*pi*3;
y1=sin(omega1*t);
subplot(4,1,1);plot(t,y1,'r');
xlabel('Time[s]');
ylabel('Magnitude y1');
axis([0 (n-1)*dt -1.5 1.5])
% y2
omega2=2*pi*30;
y2=sin(omega2*t);
subplot(4,1,2);plot(t,y2,'r');
xlabel('Time[s]');
ylabel('Magnitude y2');
axis([0 (n-800)*dt -1.5 1.5])
% Σ
y=y1+y2+0.1*rand(size(t));
subplot(4,1,3);plot(t,y,'r');
xlabel('Time[s]');
ylabel('Magnitude Σ');
axis([0 (n-500)*dt -2 2])
%FFT
ffty=fft(y)/(n/2);
f=(0:n-1)/dt/(n-1);
subplot(4,1,4);plot(f(1:n/2),abs(ffty(1:n/2)));
axis([0 1/(2*dt) 0 max(abs(ffty))]);
xlabel('Frequency[Hz]');
ylabel('Power spectrum');
```

## 3. Control Systemを用いた制御系の応答

Control System Toolboxは制御工学で使われる関数を与えるもので、制御設計、解析、モデル化の方法を与えるものである。特に時間応答、周波数応答、根軌跡の計算に用いられ、結果をグラフ化できる利点がある。Control Systemの基本的なコマンドとその機能をTable 3.1に示す。<sup>2,3,5)</sup>

Table 3.1 コマンドおよび関数

	コマンド	説明
時間応答	step impulse initial lsim covar filter	単位ステップ応答をプロット インパルス応答 初期条件に対する応答 任意の入力に対するシミュレーション 白色ノイズに対する共分散応答 フィルタリングの実行
周波数応答	三角関数 square sawtooth bode nyquist	sin, cos, tan 矩形波 ノコギリ波と三角波関数 ボード線図のプロット ナイキスト線図のプロット
モデル設計と関数	append parallel series feedback rlocus lgr lge	システムダイナミックスの付加 システムのparallel結合 システムのseries結合 feedbackシステムの結合 根軌跡をプロット 線型レギュレータの設計 線型エスティメータの設計

3.2 制御モデルとその応答

ここではFig. 3.2.1に示すDuffing振動系モデルを制御対象とする制御システムについてモデルを作成し、シミュレーションを行う。この制御対象にPIDコントローラを付加したシステムのブロック図はFig. 3.2.2のように示すされる。ところで、Fig. 3.2.1の運動方程式は(1)式のように与えられる。

$$m\ddot{x}+c\dot{x}+N_k=q(t) \tag{1}$$

ここで $N_k$ は変位  $x$  の関数で、 $N_k=kx+\alpha x^3$  外力  $q(t)$ は 調和外力として $q(t)=Q\cos(\omega t)$  で与えると(1)式は、

$$m\ddot{x}+c\dot{x}+kx+\alpha x^3=Q\cos(\omega t) \tag{2}$$

となる。但しシステムのパラメータはTable 3.2.2に示す通りである。今、 $s$ をラプラス演算子とするとPIDは $(k_p+k_d s+k_i/s)$ で表される。このシステムのプログラムは Matlab program 3.2.1に示す。またstep応答特性はFig. 3.2.3に、ボード線図はFig. 3.2.4に示される。

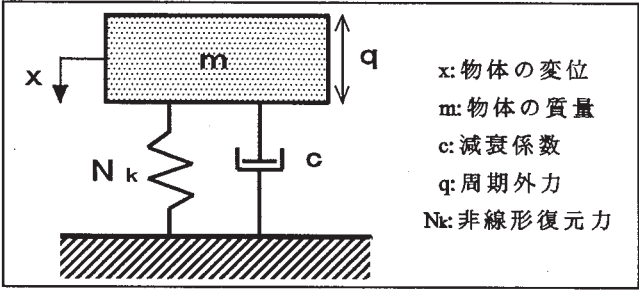


Fig. 3.2.1 Duffing振動系モデル

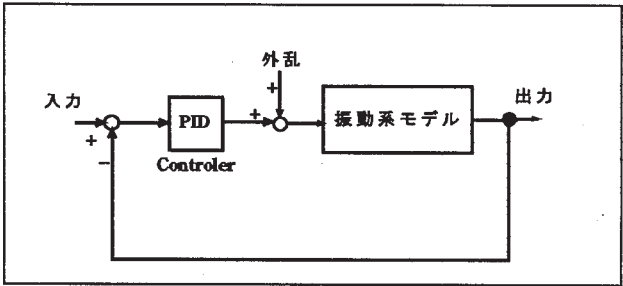


Fig. 3.2.2 ブロック線図

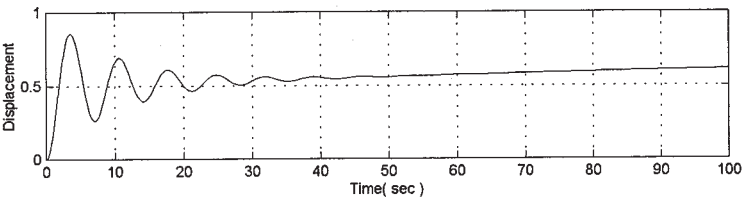


Fig. 3.2.3 Step応答特性

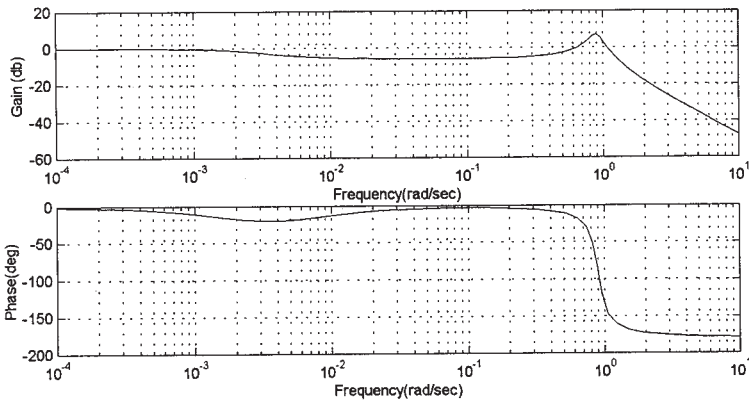


Fig. 3.2.4 ボード線図

Table 3.2.2 システムパラメータ

m : 5kg	$k_p$ (比例ゲイン) : 2
c : 1.0N-s/m	$k_d$ (微分ゲイン) : 0
k : 2.0N/m	$k_i$ (積分ゲイン) : 0.01
$\alpha$ : 0	外乱 : 0

```
%simulation of step-response and bode diagrams
%model of system
num1=[0 0 0.2];
den1=[1 0.2 0.4];
%series connect
num2=[0 2 0.01];
den2=[0 1 0];
[num3,den3]=series(num1,den1,num2,den2);
%feedback connect
[numc,denc]=feedback(num3,den3,1,1);
hold
%step-response
t=0:0.05:100;
[y1,x1,t]=step(numc,denc,t);
subplot(3,1,1);plot(t,y1)
grid
xlabel('Time( sec )')
ylabel('Displacement')
%bode diagrams
w=logspace(-1,1,101);
[mag,phase,w]=bode(numc,denc);
subplot(312),semilogx(w,20*log10(mag))
grid
xlabel('Frequency(rad/sec)')
ylabel('Gain (db)')
subplot(313),semilogx(w,phase)
grid
xlabel('Frequency(rad/sec)')
ylabel('Phase(deg)')
hold off
```

#### 4. まとめ

MATLABは物理現象および社会現象のモデル化や記述が簡単にできる利点がある。データ処理や数式処理が対話的に行え、それらの結果をグラフ、動画として取り出すことができる。制御工学の分野だけではなく、広く工学の分野でC言語やFortran言語を使用しているユーザに第4世代言語として良く用いられている。

今回の研修ではMATLABの機能が多くある中で、MATLAB拡張ソフトであるToolbox内のSignal Processing, Control Systemの2つのソフトについて、その基本的な使い方の修得を行った。Signal Processingを用いては、3 Hzと30 Hzの正弦波に白色ノイズを付加した合成信号波形の作成と、その信号から基本周波数の抽出を行うこれら一連の処理プログラムの作成を行った。また制御問題を解く方法については、システムのブロック図を作成し、そのシステムのstep応答、周波数応答についてControl Systemを用いて求め、その技術の一部の修得ができた。

#### 5. 今後の課題

MATLAB拡張ソフトで、Toolbox内にあり、今回修得できなかった Neural Network, Robust Control, Wavelet, System Identification解析などのソフトについても引き続き理解を深める必要がある。

特に制御問題を解く場合、その系が極めて複雑あるいは数学的に未知な場合についても系の解析が必要とされている。その場合MATLABは解析の有効な手段となりうるし、大学における研究と学生の技術指導上有用なものである。今後さらに広範囲にMATLAB全般にわたり理解を深め、一層の技術修得を計る必要がある。

#### 参考文献

- 1) 小国 力 MATLABと利用の実際 1995 サイエンス社
- 2) The MathWorks, Inc. MATLAB Use's Guide サイバネットシステム社
- 3) The MathWorks, Inc. SIMULINK Use's Guide サイバネットシステム社
- 4) Signal Processing Toolbox 1994 サイバネットシステム社
- 5) Control System Toolbox 1993 サイバネットシステム社